

ANALISIS SUDU KOMPRESOR AKSIAL UNTUK SISTEM TURBIN HELIUM RGTT200K

Sri Sudadiyo

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir

ABSTRAK

ANALISIS SUDU KOMPRESOR AKSIAL UNTUK SISTEM TURBIN HELIUM RGTT200K. Konsep sistem turbin helium yang digunakan untuk alat pendingin teras RGTT200K mempunyai komponen utama kompresor. Kompresor ini didesain dengan perbandingan tekanan 1,85, temperatur masuk 40 °C, dan laju aliran massa 107,258 kg/s. Bentuk sudu kompresor didesain untuk memberikan tekanan keluar 50 bar dan aliran helium secara aksial dengan kecepatan 228 m/s. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan derajat reaksi dan sudut aliran helium melalui sudu. Perangkat lunak *Cycle-Tempo Release* 5.0 digunakan untuk pemodelan kompresor aksial agar diperoleh kondisi termodinamika yang sesuai. Dari hasil perhitungan diperoleh sudut aliran helium masuk sudu 45°, sudut aliran helium keluar sudu 45°, derajat reaksi 0,5, dan efisiensi 92,13 % sehingga cocok untuk siklus turbin helium dalam RGTT200K.

Kata Kunci : sudu, aksial, kompresor, turbin, RGTT200K

ABSTRACT

ANALYSIS ON AXIAL COMPRESSOR BLADE FOR HELIUM TURBINE SYSTEM OF RGTT200K. Concept of helium turbine system that be used for coolant device of RGTT200K core has main component of compressor. This compressor was designed with pressure ratio 1.85, inlet temperature 40 °C, and mass flow rate 107.258 kg/s. Shape of compressor blade was designed to give outlet pressure 50 bar and axially helium flow with speed 228 m/s. The aim of this study is to determine reaction degree and helium flow angle through blade. Software of *Cycle-Tempo Release* 5.0 was employed for modeling the axial compressor in order to be obtained appropriate thermodynamics conditions. From the calculation results were yielded blade inlet helium flow angle 45°, blade outlet helium flow angle 45°, reaction degree 0.5, and efficiency 92.13 % so that proper to helium turbine system within RGTT200K.

Keywords : blade, axial, compressor, turbine, RGTT200K

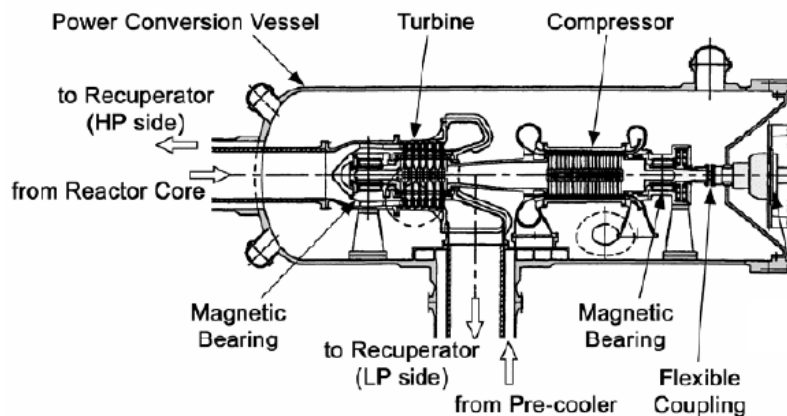
PENDAHULUAN

Sistem turbin helium, seperti diperlihatkan pada Gambar 1^[1], digunakan sebagai alat pendingin teras reaktor nuklir dalam konsep RGTT200K^[2]. Komponen utama dari alat pendingin ini yaitu turbin, kompresor, rekuperator dan *intercooler*. Kompresor yang dipakai dalam penelitian ini mempunyai tipe aliran aksial dengan fluida kerja yang digunakan adalah gas helium. Pembangkit listrik tenaga nuklir tipe RGTT200K ini merupakan reaktor nuklir generasi lanjut dirancang mampu menghasilkan daya termal 200 MWth dan daya listrik 60 MWe. Tekanan dalam teras RGTT200K

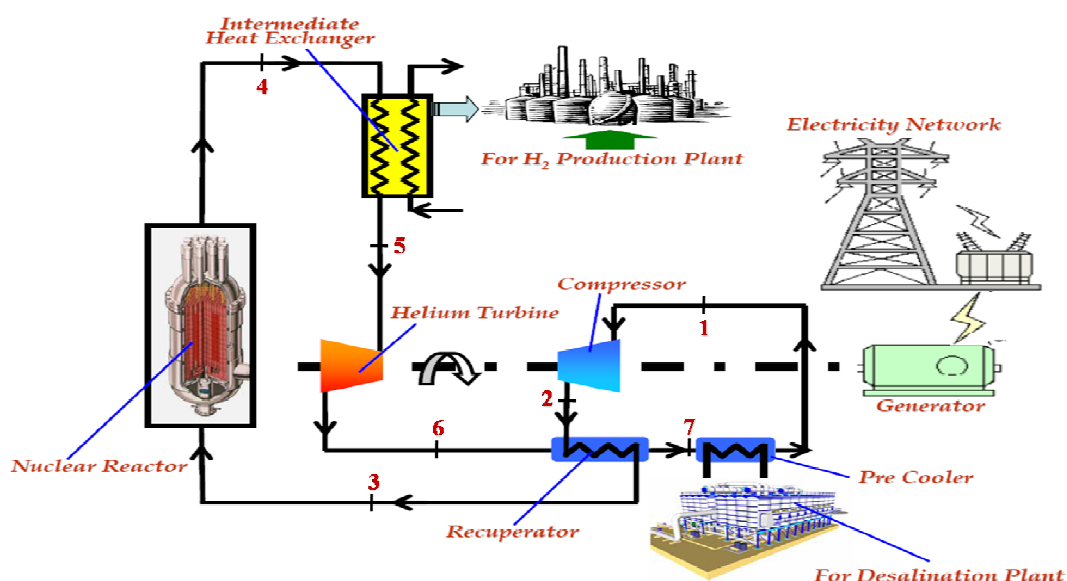
didesain 50 bar dengan temperatur keluaran 950 °C. Desain kompresor aksial harus mampu memberikan tekanan keluaran sesuai dengan tekanan dalam teras RGTT200K. Kompresor aksial dalam penelitian ini didesain dengan perbandingan tekanan rendah sehingga kerugian energi aliran helium melalui sudu dapat diperkecil. Semakin kecil kerugian energi dari helium melalui sudu, maka semakin tinggi unjuk kerja dari kompresor aksial. Secara keseluruhan, kenaikan unjuk kerja dari sistem turbin-kompresor sangat dipengaruhi oleh kerja dari kompresor aksial dalam siklus pendingin teras RGTT200K.

Pada siklus pendingin RGTT200K, seperti ditunjukkan pada Gambar 2^[3], proses melalui kompresor aksial diasumsikan isenropik. Kenaikkan tekanan melalui kompresor aksial tidak mengakibatkan kerugian energi dalam helium. Seperti terlihat pada Gambar 1, peletakan kompresor aksial adalah pada poros yang sama dengan turbin. Hal ini dimaksudkan untuk memperkecil kerugian mekanis akibat gesekan dan agar daya yang dihasilkan oleh turbin dapat digunakan langsung untuk memutar kompresor aksial. Dalam penelitian ini, pemodelan termodinamika dari kompresor aksial pada siklus

pendingin teras RGTT200K dilakukan dengan perangkat lunak *Cycle-Tempo Release 5.0*^[4]. Metode yang dipakai yaitu memberikan parameter berupa tekanan masuk dan keluar kompresor aksial. Hasil analisis termodinamika yang diperoleh digunakan untuk menentukan derajat reaksi dan sudut aliran helium melalui sudu dari kompresor aksial pada RGTT200K. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan derajat reaksi dan sudut aliran helium dari kompresor aksial yang diharapkan untuk mendapatkan aliran helium yang merata sepanjang sudu.



Gambar 1. Instalasi sistem turbin-kompresor untuk RGTT200K^[1]

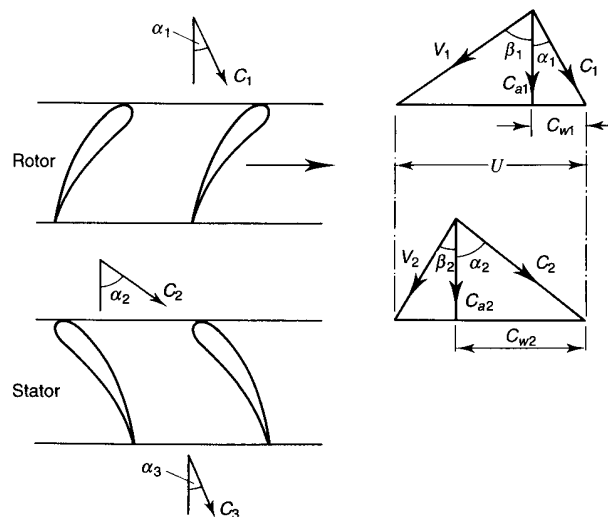


Gambar 2. Instalasi pembangkit listrik tenaga nuklir tipe RGTT200K^[3]

METODOLOGI

Cycle-Tempo Release 5.0 merupakan suatu paket program komputer untuk pemodelan termodinamika dengan akurasi tinggi sehingga perangkat lunak ini cocok untuk memodelkan kompresor aksial pada RGTT200K. Data yang diberikan untuk desain kompresor aksial berupa tekanan masuk 27 bar dan tekanan keluar 50 bar. Perangkat lunak ini memproses data yang diberikan untuk selanjutnya memberikan hasil

analisis berupa parameter seperti temperatur, rasio tekanan kompresi, entropi, entalpi, dan daya yang dibutuhkan oleh kompresor. Dalam penelitian ini ditentukan geometri panjang sudu sebesar 91 mm dan putaran poros kompresor sebesar 3600 rpm. Hasil perhitungan yang diperoleh dari perangkat lunak *Cycle-Tempo Release* 5.0 diolah dengan mengaplikasikan Gambar 3, Persamaan (1), dan Persamaan (2) untuk mendapatkan kecepatan, derajat reaksi, dan besaran sudut aliran helium melalui sudu.



Derajat reaksi dari kompresor aksial dihitung dengan formula sebagai berikut^[5] :

Derajat reaksi dari kompresor aksial dihitung dengan formula sebagai berikut^[5] :

$$R = \frac{C_{a1} \tan \beta_1 + C_{a2} \tan \beta_2}{2U} \quad (1)$$

dimana :

C_{a1} adalah kecepatan aksial aliran helium masuk sudu

β_1 adalah sudut masuk aliran helium

C_{a2} adalah kecepatan aksial aliran helium keluar sudu

β_2 adalah sudut masuk aliran helium

U adalah kecepatan sudu.

Efisiensi dapat dihitung dengan menggunakan^[5] :

$$\eta = R\eta_{rotor} + (1 - R)\eta_{stator} \quad (2)$$

dimana :

η_{rotor} adalah efisiensi *rotor* dari kompresor aksial

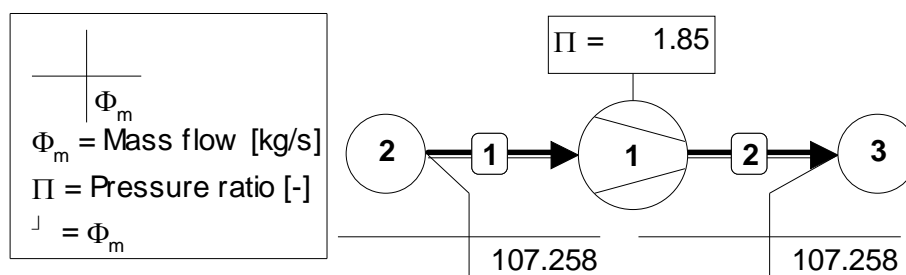
η_{stator} adalah efisiensi *stator* dari kompresor aksial.

HASIL DAN DISKUSI

Pada penelitian ini, sistem turbin-kompresor digunakan untuk mensirkulasikan gas helium ke dalam teras RGTT200K. Kompresor aksial sebagai komponen utama

dalam sistem ini digunakan untuk menaikkan tekanan aliran helium sebelum masuk ke teras RGTT200K. Tekanan dalam teras RGTT200K didesain 50 bar. Gas helium yang dihisap oleh kompresor akan ditekan oleh sudu sehingga tekanan helium mencapai 50 bar. Daya yang dibutuhkan oleh kompresor langsung disuplai oleh turbin. Energi termal yang diterima oleh turbin berasal dari aliran gas helium setelah keluar teras RGTT200K. Temperatur keluar teras RGTT200K sebesar 950 °C. Temperatur masuk turbin didesain sebesar 850 °C. Secara

termodinamika, kompresor aksial dimodelkan dengan menggunakan perangkat lunak *Cycle-Tempo Release 5.0*, seperti terlihat pada Gambar 4. Data yang diperoleh dari hasil pemodelan ini ditunjukkan pada Tabel 1. Laju aliran massa melalui kompresor aksial dihitung dengan *Cycle-Tempo Release 5.0* yaitu sebesar 107,258 kg/s. Perbandingan tekanan antara keluaran dan masukan kompresor aksial yaitu sekitar 1,85. Daya yang diperlukan oleh kompresor aksial yaitu sekitar 52,915 MW.



Gambar 4. Pemodelan kompresor aksial dengan *Cycle-Tempo Release 5.0*

Tabel 1. Hasil perhitungan dengan *Cycle-Tempo Release 5.0* untuk kompresor aksial

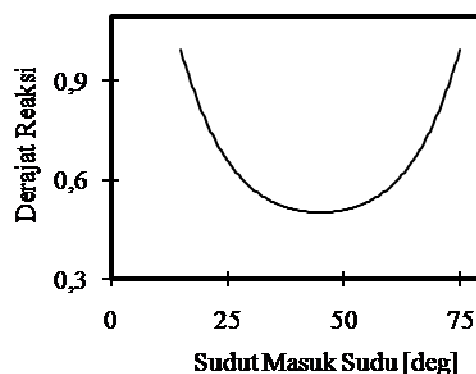
Titik pengamatan	Tekanan [bar]	Temperatur [°C]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
1	27	40	77,90	24,9254
2	50	135	571,24	25,0214

Desain dari panjang sudu kompresor aksial terlihat dalam Tabel 2. Nilai tangensial sudut untuk sistem turbin-kompresor adalah sebesar 91 mm. Putaran kompresor aksial ditetapkan 3600 rpm dengan kecepatan sudu 228 m/s dan kecepatan aksial aliran helium yang melalui sudu 114 m/s. Perbandingan tekanan aliran helium antara kondisi keluar dan kondisi masuk kompresor aksial diperoleh menggunakan perangkat lunak *Cycle-Tempo Release 5.0* yaitu 1,85. Pada penelitian ini, sudut aliran helium masuk (β_1) dan keluar (β_2) sudu divariasi seperti

Nilai derajat reaksi ini sangat cocok untuk aksial 114 m/s dan kecepatan sudu 228 m/s gas helium dengan rasio antara kecepatan aliran dalam kompresor RGTT200K.

Tabel 2. Hasil perhitungan sudut aliran helium melalui sudu kompresor aksial

β_1 [deg]	β_2 [deg]	$\tan b_1$	$\tan b_2$
15	75	0,268	3,732
30	60	0,577	1,732
45	45	1	1
60	30	1,732	0,577
75	15	3,732	0,268

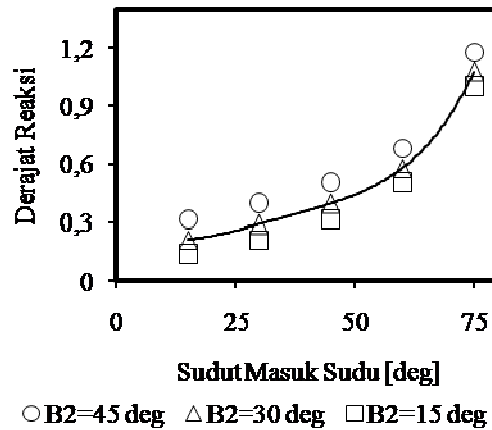


Gambar 5. Grafik antara sudut masuk sudu dan derajat reaksi

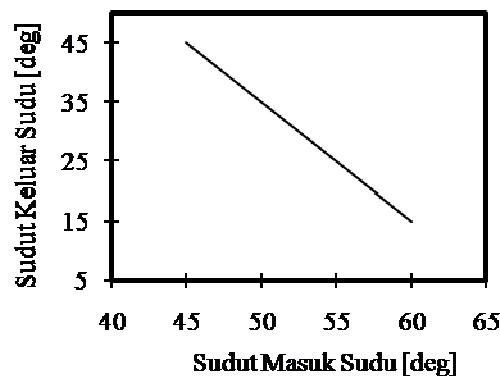
Gambar 6 memperlihatkan diagram derajat reaksi dari kompresor aksial untuk RGTT200 K

yang merupakan fungsi sudut aliran masuk sudu. Dari Gambar 6 tersebut, dapat ditarik garis secara horizontal pada nilai derajat reaksi 0,5 hingga memotong kurva yang mempunyai sudut aliran helium keluar sudu konstan. Untuk nilai sudut aliran keluar sudu (β_2) sebesar 45° diperoleh nilai sudut aliran masuk sudu (β_1) sebesar 45° , sedangkan untuk nilai sudut aliran keluar sudu (β_2) sebesar 15° diperoleh nilai sudut aliran masuk sudu (β_1) sebesar 60° . Kemudian kedua hasil ini diplotkan ke dalam

Gambar 7. Dari Gambar 7 tersebut, dapat diketahui bahwa besaran sudut aliran helium keluar sudu bervariasi secara linier terhadap sudut aliran helium masuk sudu pada kondisi derajat reaksi sebesar 0,5. Sebagai contoh aplikasi dari Gambar 7, untuk desain sudu kompresor aksial RGTT200K dengan nilai sudut aliran helium masuk sebesar 50° , maka diperoleh besaran sudut aliran helium keluar 35° .



Gambar 6. Kurva derajat reaksi pada sudut aliran helium keluar sudu tetap



Gambar 7. Diagram untuk menentukan sudut aliran helium melalui sudu kompresor

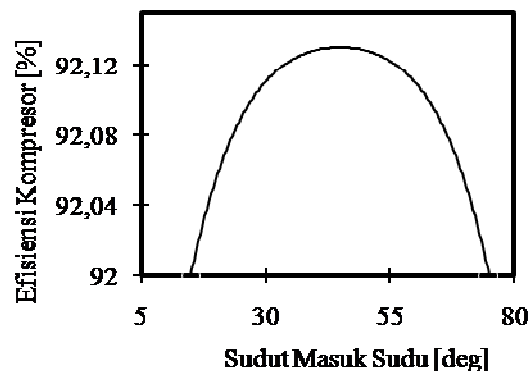
Pada sistem turbin helium untuk instalasi sudu, seperti terlihat pada Tabel 3. Daya dari RGTT200K ini, kompresor aksial didesain turbin yang diterima oleh kompresor dengan derajat reaksi 0,5 pada putaran 3600 rpm dan panjang sudu 91 mm. Bentuk profil sudu dapat didesain melengkung atau tidak melengkung tergantung pada perbedaan antara sudut aliran helium masuk sudu dan sudut aliran helium keluar sudu. Untuk data yang diberikan pada Tabel 1 di atas, dapat dihitung nilai kelengkungan sudu dan nilai $\tan \beta_x$ dari

Didistribusikan ke sudu *rotor* dan sudu *stator*. Dalam penelitian sistem turbin helium ini, efisiensi *rotor* yang digunakan 92 % dan efisiensi *stator* sama dengan 92,26 %. Efisiensi kompresor aksial dihitung dengan menggunakan persamaan (2) dan hasilnya diperlihatkan pada Gambar 8. Dari Gambar 8 dan Tabel 3, dapat diketahui

bahwa efisiensi maksimum dari kompresor memberikan hasil yang sama sebesar 92,13 %. aksial sebesar 92,13 % yang terjadi pada Dari kurva dapat dilihat bahwa jika kelengkungan sudu 0° . Hasil perhitungan kelengkungan sudu diperbesar, maka efisiensi efisiensi maksimum ini diverifikasi dengan kompresor aksial yang dihasilkan akan menurun. perangkat lunak *Cycle-Tempo Release 5.0* dan

Tabel 3. Hasil perhitungan kelengkungan sudu pada $R=0,5$

Kelengkungan Sudu [$^\circ$]	$\tan b_x$
60	2
30	1,155
0	1
-30	1,155
-60	2



Gambar 8. Kurva efisiensi *versus* sudut masuk sudu

KESIMPULAN

Sudu kompresor aksial dalam sistem turbin helium didesain dengan sudut aliran helium masuk sudu 45° , sudut aliran helium keluar sudu 45° , dan derajat reaksi 0,5. Dari desain sudu diperoleh efisiensi kompresor aksial sebesar 92,13 %, sangat cocok diaplikasikan pada sistem turbin helium untuk pendingin teras RGTT200K.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kegiatan Penelitian ini merupakan bagian kerja di PTRKN. Terima kasih kami sampaikan kepada Redaksi Majalah Ilmiah Sigma Epsilon,

rekan-rekan di BPR, dan kepada semua pihak yang telah membantu perbaikan penulisan dalam makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. YAN, X., KUNITOMI, K., NAKATA, T., SHIOZAWA, S., *Design and Development of GTHTR300*, Nuclear Engineering and Design, 2002.
2. PURWADI, MD., "Desain Konseptual Sistem Reaktor Daya Maju Kogenerasi Berbasis RGTT", Prosiding Seminar Nasional ke-16 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir,

Surabaya, 28 Juli 2010.

3. SUDADIYO, S., Analisis Termodinamika Sistem Turbin Helium Untuk Reaktor Daya Nuklir, Prosiding Seminar Nasional PLTN ke 16, 2010.
4. ANONYMOUS, Perangkat lunak *Cycle-Tempo Release* 5, Delft University of Technology, 2007.
5. COHEN, H., *Gas Turbine Theory*, Edisi kedua, 1972.